Die Wirkung von Wärme und Kälte auf die einzelnen Ampullen des Ohrlabyrinths der Taube

festgestellt mit Hilfe neuer Methoden.

Inaugural-Dissertation

ACAD.
LUGD.BAT.
BIBL.

der medizinischen Fakultät der
Kaiser Wilhelms-Universität zu
Straßburg

zur Erlangung der Doktorwürde

vorgelegt von

Heinrich Popp
aus Straßburg.

LEIPZIG.
Verlag von Johann Ambrosius Barth.
1913.

Gedruckt mit Genehmigung der medizinischen Fakultät der Universität Straſsburg.

Referent: **Prof. Dr. Ewald.**

Seitdem Goltz[1] die Bedeutung der Bogengänge des Ohrlabyrinths als Gleichgewichtsapparat erkannt hat, versuchte man auf verschiedenen Wegen die Funktionen dieser Bogengänge durch Experimente an Tieren kennen zu lernen. Man bediente sich dazu der mechanischen, chemischen, elektrischen und thermischen Reizung des Labyrinths. Während man nun durch die drei ersten Methoden klare Resultate erzielte, war dies bei der thermischen Reizung nicht der Fall. Die verhältnismäfsig wenigen Versuche, die bis heute in dieser Beziehung angestellt wurden, sind teilweise sehr widersprechend, wie man dies leicht aus dem folgenden Überblick, der nur diejenigen Autoren anführt, welche sich mit thermischer Reizung beschäftigt haben, ersehen kann.

Der erste, der eine thermische Einwirkung auf die Bogengänge wahrnahm, war Bornhardt.[2] Zwar hatten schon vorher Schmiedekam und Hensen bei Versuchen über die Belastungsstärke des Trommelfells bei Einführung von kaltem Wasser gewisse Bewegungen gesehen, mafsen denselben aber keine weitere Bedeutung bei. Bornhardt führte seine Versuche der Mehrzahl nach an Tauben aus, einige wenige auch an jungen Kaninchen. Er berührte mit einem glühenden Eisendrahte den freigelegten Canalis externus der einen Seite, wobei der Kopf sich nach der anderen Seite wandte, um nach Entfernung des Drahtes wieder in seine normale Stellung zurückzukehren. Die Augen bewegten sich hierbei stofsweise nach der versengten Seite. Bei Versengung der Horizontalkanäle trat Nystagmus des Kopfes nach der entgegengesetzten Seite ein, d. h. die ruckweisen schnelleren Bewegungen des Kopfes fanden nach der nicht operierten Seite

[1] Fr. Goltz: Über die physiologische Bedeutung der Bogengänge des Ohrlabyrinths. (*Pflügers Archiv* **3**, S. 172 ff.)

[2] Bornhardt: Experimentelle Beiträge zur Physiologie der Bogengänge des Ohrlabyrinths. (*Pflügers Archiv* **3**, S. 471 ff.)

statt. Auch den Canalis posterior versengte er, wobei das Auge der versengten Seite sich mehrmals nach dem Schnabel zu und wieder zurück bewegte. Bemerkenswert ist, dafs der Kopf einen Nystagmus nach unten ausführte, der in derselben Stärke bis zur Tötung des Tieres zwei Stunden lang fortdauerte. Bornhardt fand auch schon, dafs nach Blendung der Tiere der Nystagmus deutlicher zutage trat. Auch durch Kühlen des Canalis posterior mit Eis erzielte Bornhardt Zuckungen der Augenlider und des Kopfes, jedoch ohne eine bestimmte Richtung. Bei Ätherisation[1] des Canalis posterior tritt ein Hintenüberwerfen des Kopfes nach derselben Seite auf. Bei Ätherisation des Canalis externus der linken Seite sieht Bornhardt Reitbahnbewegungen nach links auftreten, während Ätherisation des Canalis externus der rechten Seite Reitbahnbewegungen nach beiden Seiten auslöst.

Im Gegensatze dazu hat Spamer[2] nach Ätherisation nichts Besonderes beobachtet. Bei der Verödung der Gefäfse mit einer glühenden Nadel oder einem Platindrahte sah der genannte Autor heftige Bewegungen und Zuckungen des Kopfes nach allen Seiten eintreten, Erscheinungen, welche seiner Ansicht nach wohl von der Hitzeinwirkung abgeleitet werden können, die aber auch vielleicht als Schmerzäufserungen zu deuten wären. Spamer macht noch besonders darauf aufmerksam, dafs irgendwelche Nebenverletzungen sicher ausgeschlossen seien. Er sagt selbst, „dafs man nach Wegbrennen der Kanäle häufig noch längere Zeit hindurch ein öfteres, äufserlich nicht motiviertes Zucken des Kopfes oder Zusammenfahren des ganzen Körpers beobachtet". Er hat auch eine wechselnde Umdrehungsrichtung beobachtet „in der Weise, dafs eine Zeitlang solche nach der gesunden Seite besteht, dann aber fast ausnahmslos wieder solcher nach der verletzten Seite hin Platz macht".

Die Versuche, die Baginsky[3] anstellte, wurden von ihm nicht zur Beobachtung der thermischen Reizung gemacht, sondern nur

---

[1] Bornhardt nimmt offenbar an, dafs es sich bei diesen Versuchen um eine Wirkung der Abkühlung durch die Verdunstung des Äthers handelt.

[2] Spamer: Experimenteller und kritischer Beitrag zur Physiologie der halbkreisförmigen Kanäle. (*Pflügers Archiv* **21**, S. 479 ff.)

[3] B. Baginsky: Über die Folgen von Drucksteigerung in der Paukenhöhle und die Funktion der Bogengänge. (Du Bois: *Archiv für Phys.* 1881, S. 201 ff.)

gelegentlich seiner Versuche über die Wirkung der Drucksteigerung in der Paukenhöhle. Er verwandte hierzu Flüssigkeiten von wechselnder Temperatur, wobei ihm auffiel, dafs bei gleichem Drucke, aber verschiedener Temperatur, die auftretenden Erscheinungen sich nicht immer in derselben Weise zeigten, oder manchmal auch ganz ausblieben. Letzteres war z. B. der Fall, wenn Wasser von Körpertemperatur der betreffenden Versuchstiere (es handelte sich meist um Kaninchen) unter geringem Drucke eingespritzt wurde. Erst bei starkem Drucke trat ein Nystagmus nach der operierten Seite auf. „Es fiel aber dabei auf, dafs die Erscheinungen, sowohl an Dauer wie an Intensität, nicht die Stärke erreichten, wie bei der Einspritzung von kaltem Wasser." Nach Baginsky sind „für die Erzeugung der Schwindelerscheinungen zwei Faktoren notwendig. Einmal ein gewisser Druck und zweitens ein Reiz, der gesetzt werden kann entweder durch die chemische Beschaffenheit der Flüssigkeiten oder durch ihre niedere Temperatur oder endlich durch den hohen Druck der warmen indifferenten Flüssigkeiten." Dafs auch warme Flüssigkeiten über Körperwärme unter geringem Drucke einen Reiz ausüben können, ist dem betreffenden Untersucher nicht aufgefallen.

Erst Kubo[1] versuchte bei Tauben die Bogengänge auch mit warmem Wasser zu reizen, dadurch, dafs er Wasser von 62 bis 70° C auf die freigelegten Bogengänge spritzte, wobei er dann einen horizontalen Nystagmus erhielt. Führte er den Versuch mit Wasser von 14—15° aus, so trat ein horizontaler Nystagmus nach der anderen Seite auf. Bei Kaninchen, welche auf dem Bauche lagen, brachte er mit einer Spritze kaltes Wasser in den äufseren Gehörgang, wobei er manchmal einen typischen horizontalen Augennystagmus sah, d. h. der Bulbus der ausgespritzten Seite ging langsam nach dem Ohre der gleichen Seite hin, dann rasch nach der Nase, während der Bulbus der anderen Seite sich langsam nach der Nase, ruckweise nach dem Ohre zu bewegte. Drehte Kubo nun während der Nystagmusbewegungen das Tier so um, dafs es auf den Rücken zu liegen kam, dann veränderte sich der Nystagmus derart, dafs der Bulbus der gereizten Seite nun nicht mehr nach der Nase zu seine ruckweisen schnelleren

[1] I. Kubo: Über die vom N. acusticus ausgelösten Augenbewegungen (besonders bei thermischen Reizungen). I. Mitteilung: *Pflügers Archiv* **114**, S. 143 ff. II. Mitteilung: *Pflügers Archiv* **115**, S. 467 ff.

Bewegungen ausführte, sondern nach dem Ohre zu. Bei Einspritzung von heifsem Wasser fand Kubo, dafs in Bauchlage ein horizontaler Nystagmus nach dem Ohre stattfand, der bei Rückenlage in Nystagmus nach der Nase zu umschlug.

Nach ihm läfst sich vom äufseren Gehörgange aus bei Tauben durch Ausspritzen mit warmem oder kaltem Wasser kein Nystagmus erzeugen. Die Reizung der einzelnen Bogengänge führte er derart aus, dafs er mit einem kalten oder heifsen Metallstäbchen die betreffenden Bogengänge berührte, wobei er fand, dafs Wärme und Kälte einander entgegengesetzte Wirkungen ausüben.

Seine Ergebnisse sind kurz folgende. Berührung des Canalis externus mit kaltem Stäbchen ergibt einen horizontalen Nystagmus der Augen, dessen ruckweisen Bewegungen auf der gereizten Seite nach dem Schnabel hin gerichtet sind. Die Anlegung eines heifsen Metallstäbchens zeigt einen horizontalen Nystagmus nach dem Ohre hin erfolgend. Wird der Canalis posterior durch Kälte gereizt, so entsteht ein vertikaler Nystagmus nach unten auf der gereizten Seite, während Wärmereizung desselben Kanals einen Nystagmus nach oben auf der gereizten Seite bewirkt. Bei dem Canalis anterior läfst sich nach Kubo kein deutlicher Nystagmus weder mit Kälte noch mit Wärme nachweisen. Es treten rotatorische Bewegungen auf, deren Richtung aber, wie er selbst zugibt, sowohl bei Wärme, wie auch bei Kälte entweder im Sinne des Uhrzeigers oder auch entgegengesetzt dem Sinne des Uhrzeigers, erfolgt. Bei Zerstörung der Bogengänge erhielt Kubo noch Reaktionen des Vestibularapparates nach Einspritzung von kaltem und heifsem Wasser. Erst nach Zerstörung der Ampullen blieb jede Reaktion aus. Kopfnystagmus hat Kubo, wie aus seiner Arbeit hervorgeht, nicht beobachten können, weil er bei seinen Versuchen den Schnabel der Tauben mit der Hand festhielt. Nur bei der Reizung des ganzen Vestibularapparates mit kaltem Wasser erwähnt er, dafs „sogenannter Kopfnystagmus“ bei Freilassen des Kopfes eingetreten ist, macht jedoch keine nähere Angabe, nach welcher Seite der Kopf abwich und in welcher Richtung der Kopfnystagmus geschlagen hat.

Seine Versuche an Kaninchen, betreffend die Reizung der einzelnen Bogengänge mit warmem oder kaltem Metallstäbchen, haben nach seinen eigenen Angaben nicht so deutliche Resultate ergeben wie die Tauben. Doch findet er, dafs „die Wärme wirk-

samer sei als die Kälte; oftmalige Applikation von Kälte hemmt die Reflexbewegungen".

Bei seinen Versuchen an Fischen hatte KUBO mit thermischen Reizen nur wenig Erfolg; er kommt deshalb zu folgendem Schlusse: Die Vestibularapparate der Fische reagieren sehr schlecht auf thermische Reizung; die Kälte wirkt fast gar nicht.

Schon vor KUBO hatte BREUER[1] bei seinen Experimenten an Tauben auf thermischem Wege eine Reizung der Bogengänge herbeizuführen, die Beobachtung gemacht, dafs die Wärme manchmal eine Umkehr der Bewegungen, die er bei Kältereiz erhielt, bewirkt. Wenn er nämlich Eiswasser auf die Ampulla posterior der linken Seite brachte, so neigte sich der Kopf nach links hinten oder rechts vorne. Es ist allerdings nicht recht verständlich, warum BREUER bei der Reizung der Ampullen auf einer Seite Kopfbewegungen nach beiden Richtungen erhielt. Kühlte er auf derselben Seite die Ampulla horizontalis mit einem Metallstabe ab, so drehte sich der Kopf in der Horizontalebene nach links oder rechts. Führte er dieselben Versuche mit einem Galvanokauter aus, so erhielt er, wie schon erwähnt, eine Neigung des Kopfes nach den entgegengesetzten Richtungen. Auch bemerkte er, dafs die Kopfbewegungen immer in der Ebene des betreffenden gereizten Kanals zustande kamen.

Auch BARTELS[2] fand bei seinen Versuchen an Kaninchen, denen er die Ohren mit kaltem und warmem Wasser ausspritzte, um die isolierten Muskelaktionen beim Nystagmus kennen zu lernen, eine entgegengesetzte Wirkung von Wärme und Kälte auf den Ohrapparat. Er führte seine Untersuchungen derart aus, dafs er nach Enucleatio bulbi an dem freipräparierten M. externus einen Faden befestigte. Dieser Faden wurde nun mit einem Schreibhebel verbunden, welcher auf einem Kymographion schrieb. Wurde nun kaltes Wasser in den äufseren Gehörgang, z. B. der linken Seite eingespritzt, so entstand durch den M. ext. dext. eine Kurve derart, dafs man zuerst ein langsames Sinken sah, dem ein steiler Anstieg folgte. „Auf Einspritzen von kaltem Wasser in das linke Ohr erschlaffte also der

---

[1] BREUER: Neue Versuche an den Ohrbogengängen. (*Pflügers Archiv* 44, S. 135 ff.)

[2] BARTELS: Über Regulierung der Augenstellung durch den Ohrapparat. Mitteilung III: *Graefes Arch. für Ophth.* 78, 1. Heft.

rechte Externus langsam um sich dann wieder plötzlich heftig zu kontrahieren; das erste ist die langsame, das zweite die schnelle Phase des Nystagmus, die beide sich in der Kurve oft wiederholen." Nach Einspritzen von warmem Wasser in das linke Ohr erhielt BARTELS einen langsamen Anstieg, dagegen einen steilen Abfall, was einer Umkehr der vorigen Kurve entspricht.

Dies sind die wenigen Versuche, welche bisher an Tieren über die Wirkung des thermischen Nystagmus ausgeführt wurden. An Menschen wurde der Einfluſs von Wärme und Kälte auf die Richtung des Nystagmus zuerst von BÁRÁNY [1] festgestellt. Seine Untersuchungen führte er in der Weise aus, daſs er das Ohr der zu untersuchenden Personen bei aufrechter Kopfhaltung einige Zeit hindurch mit Wasser von niedriger oder höherer Temperatur, als die Körpertemperatur beträgt, ausspritzte. Hierbei fand er, daſs, wenn Wasser von 20 Grad Celsius in den äuſseren Gehörgang gebracht wurde ein horizontal-rotatorischer Augennystagmus nach der anderen Seite eintrat; hatte das Wasser Körpertemperatur, so erhielt er nichts. Wurde dagegen etwas wärmeres Wasser als Körpertemperatur angewandt, so trat der Nystagmus nach derselben Seite auf.

An anderer Stelle [2] warnt er allerdings aus gewissen Gründen vor der alleinigen klinischen Anwendung der kalorimetrischen Funktionsprüfung, da die Kälte resp. die Wärme zu ungleich auf die einzelnen Teile des Vestibularapparates wirke. Doch kommen andererseits BÁRÁNY und WITTMAACK [3] wieder zu dem Schlusse, daſs die Funktionsprüfung des Ohres mit Hilfe des kalorischen Nystagmus sehr erleichtert werde. Während WITTMAACK erwähnt, daſs es ihm allerdings noch nicht geglückt sei, bei keiner Kopfstellung einen rein vertikalen Nystagmus mit Hilfe der kalorischen Erregung auszulösen, bemerkt BÁRÁNY, daſs er rein vertikalen Nystagmus nach abwärts bei heiſser Spülung

[1] BÁRÁNY: Physiologie und Pathologie des Bogengangapparates bei Menschen. Leipzig und Wien 1907 bei Fr. Deutike (S. 26 ff.).

[2] BÁRÁNY: Weitere Untersuchungen über den vom Vestibularapparat des Ohres reflektorisch ausgelösten rhythmischen Nystagmus und seine Begleiterscheinungen (*Monatsschr f. Ohrenheilk.* 1907, Heft 9).

[3] BÁRÁNY und WITTMAACK: Funktionelle Prüfung des Vestibularapparates. Ref. Verh. d. Deutsch. Otolog. Gesellsch. 1911 (S. 64 ff.).

öfters beobachtet habe. Bei kalter Spülung habe er auch in einigen sehr seltenen Fällen rein vertikalen Nystagmus nach aufwärts gesehen.

Die Theorie über Endolymphbewegung durch Temperaturdifferenzen in der Endolymphe und zwar innerhalb des ganzen Kanals, welche von Bárány zuerst aufgestellt worden ist, wird von Brünings[1] genauer auseinander gesetzt. Zur Erklärung dieser Theorie dienen die Strömungserscheinungen, welche auftreten, wenn man ein mit Wasser gefülltes Gefäfs auf einer Seite z. B. am Boden erwärmt. Die erwärmte Flüssigkeit bewegt sich nun vom Boden nach der Oberfläche. Dreht man das Gefäfs um, so wird das warme Wasser sich jetzt von der Oberfläche nach dem Boden zu bewegen. Eine ebensolche Umkehr findet entsprechend bei Abkühlung statt. Brünings zeigt nun, wie die Endolymphbewegungen in den einzelnen Bogengängen verschieden ausfallen, je nachdem der Kopf geradeaus, nach oben, unten, rechts oder links gerichtet ist. Es ist jedoch zu bemerken, dafs — wie auch oben angeführt — schon Kubo nachgewiesen hat, dafs auch noch nach Zerstörung der Bogengänge der Vestibularapparat auf thermische Reizung reagiert, was jedenfalls sehr gegen diese Theorie zu sprechen scheint. Auch hat in bezug auf diese Schwierigkeit Brünings bis jetzt noch keine Stellung genommen.

Die weiteren sehr zahlreichen Versuche über kalorischen Nystagmus am Menschen können wir, da sie unserem Zwecke nicht dienen, füglich übergehen, und wollen nur Kallmann[2] anführen, der in der Einleitung seiner Arbeit eine Übersicht über die Untersuchungen und klinischen Studien, welche am Menschen von den verschiedensten Autoren ausgeführt wurden, zusammenstellt.

---

[1] Brünings: Beiträge zur Theorie, Methodik und Klinik der kalorimetrischen Funktionsprüfung des Bogengangapparates. (*Zeitschr. f. Ohrenheilkunde* **63**, Heft 1—2.)

[2] Kallmann: Über kalorischen Nystagmus und seine Prüfung durch Einblasung kalter Luft. (Passows Beiträge V., Heft 2.)

Kritik der bisherigen Methoden.

Es handelt sich bei den Versuchen, den Einfluſs von Wärme und Kälte auf den Bogengangapparat zu bestimmen, allein darum, die Ampullen zu erwärmen und abzukühlen. Denn nach den Versuchen von Ewald [1] sind die häutigen Bogengänge Temperaturunterschieden gegenüber völlig unempfindlich, was nicht weiter zu verwundern ist, da sie keine Nerven besitzen. Wenn andere Autoren in dieser Beziehung zu anderen Ansichten gekommen sind, so erklärt sich dies ebenfalls aus den oben angeführten Versuchen Ewalds. Letzterer Autor benutzte zur Feststellung dieser Verhältnisse das von ihm angegebene Präparat der Brücke: Es wurde auf einer mehrere Millimeter langen Strecke allein der knöcherne Bogengang entfernt, während der darin befindliche häutige Bogen, ohne daſs er verletzt oder auch nur berührt wurde, frei stehen blieb. Auf diese Weise war es möglich, mit einem kleinen Galvanokauter die Wand des häutigen Bogenganges direkt zu berühren, und es zeigte sich, daſs immer nur dann eine Reaktion des Tieres eintrat, wenn infolge der Einwirkung der Hitze sich ein Dampfbläschen im Inneren des Bogenganges bildete, also immer erst in dem Fall, daſs eine Verschiebung der Endolymphe bewirkt wurde.

Es müssen also die Ampullen der Bogengänge der Temperatureinwirkung unterworfen werden, und da diese bei Tauben (bei denen man am besten derartige Untersuchungen anstellen kann, und auf die wir uns im folgenden ausschlieſslich beziehen) nur eine Seitenfläche von etwa 2 bis 3 qmm besitzen und auſserdem fast unmittelbar benachbart nebeneinander liegen, so ergeben sich daraus ganz besondere technische Schwierigkeiten, welche dadurch noch besonders erhöht werden, daſs diese winzigen Gebilde ja nicht frei an der Oberfläche liegen, sondern in der Tiefe der von uns hergestellten Wundhöhle.

Läſst man einen Wassertropfen, einen heiſsen oder einen kalten, in die Ohrhöhle fallen, so genügt dieses Flüssigkeitsquantum, um alle drei Ampullen gleichzeitig der betreffenden Temperatur auszusetzen. Denn es werden durch einen einzelnen Tropfen sämtliche drei Ampullen unter Wasser gesetzt, und wollte

[1] Ewald, J. R.: Physiologische Untersuchungen über das Endorgan des N. octavus. Wiesbaden 1892 Verlag v. Bergmann (S. 211, Versuch 66).

man besonders kleine Wassertröpfchen anwenden, so würde man diese doch nicht an der Wand einer bestimmten Ampulle festhalten können. Schon aus diesem Grunde ist das Einbringen von besonders temperierten Flüssigkeitsmengen vollständig zu verwerfen, denn es kommt ja gerade darauf an lokalisiert nur eine bestimmte Ampulle und nicht alle gleichzeitig dem kalorischen Reize zu unterwerfen. Man mufs auch beachten, dafs es nicht möglich ist, die Temperatur der eingeführten Flüssigkeit zu bestimmen. Das heifse Wasser kühlt sich in nicht zu übersehender Weise ab, das kalte erwärmt sich, und da doch auch die Einwirkung durch die Knochenwand der Ampulle und vor allen Dingen durch die Perilymphe hindurch erfolgen mufs, so wird man sich über die nötigen Temperaturschwankungen, die zur Auslösung einer Reaktion erforderlich sind, auch nicht einmal ganz ungefähre Vorstellungen machen können.

Nicht viel günstiger lagen die Verhältnisse bei den Versuchen, die man mit erwärmten oder abgekühlten Drähten angestellt hat. Um eine einzelne Ampulle mit einem Drahte zu berühren, mufs dieser entweder überhaupt ziemlich dünn sein, oder wenigstens am Ende eine Spitze haben. Welche Temperatur der Draht an seinem Ende besitzt, wenn man ihn glücklich durch die Wunde hindurch mit der Ampulle in Berührung gebracht hat, ist gar nicht anzugeben. Bei derartigen Versuchen kann man auch leicht durch die mechanische Erregung der Ampulle, die durch das Anschlagen des Stäbchens an die Ampulle hervorgebracht wird, getäuscht werden. Denn ob dabei eine Gehörsempfindung oder sonst eine Empfindung irgendwelcher Art ausgelöst wird, jedenfalls können durch Beklopfen einer Ampulle Bewegungen des Tieres hervorgerufen werden.

Für ein Eisstückchen gilt ungefähr dasselbe, was wir schon oben über die Applikation des kalten Wassers gesagt haben. Teilweise hat man freilich dabei auch mit den Schwierigkeiten zu kämpfen, die sich bei dem Andrücken der Metallstäbe ergeben.

Gegen die Ätheriasation ist noch besonders einzuwenden, dafs der Äther ebenso wie das Chloroform[1] offenbar spezifisch auf den Bogengangsapparat einwirken. Es kommt aber bei allen

[1] Vgl. die Angaben in Friedmanns Arbeit: Über künstliche Reizung des Ohrlabyrinths. Diss. 1901 Strafsburg.

diesen Versuchen noch ein Umstand in Betracht, der von allergrößter Wichtigkeit ist, ja geradezu bestimmend für die Methode sein muſs. Man kann nämlich derartige Versuche nur an dem ungefesselt freistehenden Tiere anstellen, wie dies Ewald bei seinen Versuchen mit dem pneumatischen Hammer zuerst getan hat, und es entstand daher für uns die Aufgabe, eine Methode zu ersinnen, die gestattet, die Versuche

1. an der freistehenden Taube,
2. lokalisiert an der einzelnen Ampulle,
3. unter Kontrolle der wirklich angewandten Temperatur

auszuführen.

Methodik.

I. Der an die Ampulle angelegte Gummiballon.

Es wurde ein runder Gummiballon (Fig. 1a) hergestellt, der ein kleines konisches Ansatzstück besaſs, um ihn am Ende einer Metallkanüle (Fig. 1b) befestigen zu können. Die Befestigung

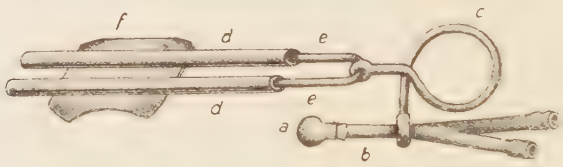


Fig. 1.

geschah mit Hilfe einer Fadenligatur. Die Kanüle bestand nun in der Art wie die Doppelkatheter aus zwei Röhren, die beide, sich aneinanderschmiegend, im Ansatzstück des Ballons endigten, am anderen Ende aber etwas voneinander abgebogen waren, so daſs sie leicht mit zwei ganz dünnen Gummischläuchen (Fig. 3a u. b) in Verbindung gebracht werden konnten. Man konnte also Wasser durch die eine Röhre in den Gummiballon einflieſsen lassen, und dieses Wasser floſs dann durch die andere Röhre wieder ab.

Die Zuleitung des Wassers geschah von einem Druckgefäſs aus, welches sich 80 cm über dem Tische befand. Von diesem Gefäſse ging ein Gummischlauch von 3 mm Lumen bis in die Nähe der Taube, dann aber war er mit einem sehr dünnen Gummischlauche von nur 0,7 mm Lumen verbunden, der direkt zu dem

einen Ast der Doppelkanüle führte. Letzterer Schlauch hatte etwa die Länge von 15 cm. Ein zweites gleiches Druckgefäfs befand sich in derselben Höhe über dem Tisch, und es konnte auch von ihm aus das Wasser dem dünnen Gummischlauche zugeleitet werden, so dafs man mit Hilfe von Schlauchklemmen nach Belieben von dem einen mit warmem Wasser gefüllten Gefäfse aus oder von dem anderen, das kaltes Wasser enthielt, den kleinen Gummiballon speisen konnte.

Der Abflufs aus dem zweiten Aste der Doppelkanüle geschah ebenfalls wie der Zulauf durch ein Stück des sehr dünnen Gummischlauches hindurch, der auch seinerseits in einen weiten Gummischlauch überging und dann in einem kleinen Glasgefäfse mit einer Überlaufröhre endigte. In den Druckgefäfsen sowohl wie auch in diesem letztgenannten Überlaufgefäfse befanden sich Thermometer. Die Temperatur des warmen Wassers wurde durch einen unter dem Gefäfse befindlichen Bunsenbrenner reguliert, die Temperatur des kalten Wassers durch Hinzufügen von abgekühltem Wasser, und es liefs sich auf diese Weise leicht eine bestimmte Temperatur in dem Gummiballon erzeugen, weil die Beobachtungen ergaben, dafs die Abkühlung resp. Erwärmung von den Druckgefäfsen bis zum Gummiballon ungefähr ebensoviel betrug wie auf der Strecke vom Gummiballon bis zum Überlaufgefäfs. Wenn man also die Differenz der Angaben zwischen dem Thermometer, das in dem Druckgefäfse sich befand und dem in dem Überlaufgefäfse halbierte, so kannte man die Temperatur der Flüssigkeit in dem Ballon.

a) Die Herstellung des Gummiballons.

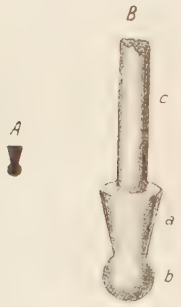
Entsprechend der Grösse der Ampullen (wir haben nur die Ampulla externa und die Ampulla posterior zu unseren Versuchen verwandt) mufste der Ballon sehr klein sein, und in diesem Umstande liegt die Schwierigkeit seiner Herstellung. Sein kugelförmiger Teil hatte einen Durchmesser von $1\frac{1}{2}$ mm, die Wandstärke betrug 0,08—0,12 mm. Derartig kleine Gummikörper stellen die Fabriken nicht her, und ich war daher darauf angewiesen, sie mir selbst zu verfertigen. Ich verfuhr dabei folgendermafsen. In den Zuckerwarengeschäften kann man kugelförmige Zuckerperlen kaufen, welche, mit einem Silberüberzuge versehen, Mundperlen genannt werden. Sie haben folgende Eigenschaften, die für mich sehr wichtig waren.

1. Sie sind sehr hart und fest, so dafs man sie auf der Drehbank und mit der Feile bearbeiten kann. Ich selbst benutzte hauptsächlich die zahnärztliche Bohrmaschine, in die eine Korundumscheibe eingesetzt war, um den später zu besprechenden Konus aus einer solchen Mundperle herzustellen.

2. Die Zuckerkugeln lassen sich leicht in Wasser, namentlich in fliefsendem, auflösen.

3. Sie sind in den verschiedensten Gröfsen käuflich.

Ich wählte eine Mundperle von der Gröfse, wie sie der Gummiballon haben sollte (Fig. 2 B b in vierfacher Vergröfserung). Nachdem der Silberüberzug durch Abreiben mit einem feuchten Lappen entfernt war, bohrte ich mit Hilfe der zahnärztlichen Bohrmaschine ein kleines Loch in die Kugel und in dieses Loch wurde ein kleiner Konus (Fig. 2 B a) gesteckt, den ich aus einer gröfseren Mundperle verfertigte. Um das Festhalten des Konus in der Kugel zu sichern, wurde er vorher über der Flamme ein klein wenig angeschmolzen. Es galt nun Kugel und Konus (Fig. 2A, in natürlicher Gröfse) mit Gummi zu überziehen. Zu dem Zwecke wurde zunächst eine dünne Stricknadel (Fig. 2 B c) in das hervorragende Ende des Konus als Handhabe eingeschmolzen. Dann wurde der ganze Zuckerkörper in eine Gummilösung getaucht und wieder herausgezogen, um die Gummilösung eintrocknen zu lassen. Hierbei hält man den Körper umgekehrt mit der Stricknadel nach unten, in der Weise, dafs die der Kugel anhaftende Gummimasse über den ganzen Körper und dann über die Stricknadel herunterfliefsen kann. Nach etwa einer Stunde ist der Gummiüberzug genügend trocken, um die Prozedur wiederholen zu können, und wenn man dies zehn- bis zwölfmal tut, so hat der Gummiballon die gewünschte Wandstärke. Nun mufs der Ballon noch vulkanisiert werden. Die Technik kennt verschiedene Methoden um dies zu bewerkstelligen. Diejenigen, bei denen man gröfsere Wärme anwenden mufs, fielen für mich aus, da sonst der Zucker geschmolzen wäre. Ich fand schliefslich für meine Zwecke sehr brauchbar eine Vulkanisierungsflüssigkeit, die ich von Herrn Dr. Dettwiller[1] bezogen habe Es war nur



Figur 2.

[1] Kunstlichtpausanstalt „Sphinx“, Fischerstaden 8, Strafsburg.

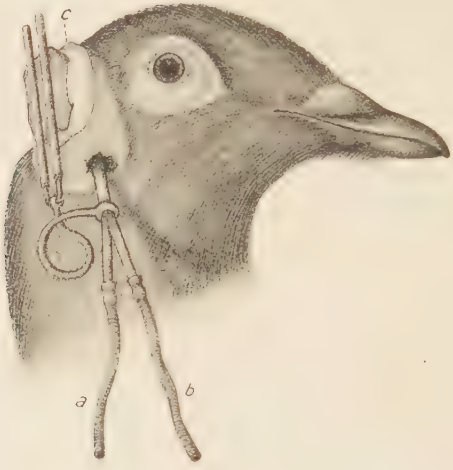
nötig, den Gummikörper etwa 10 Sekunden lang in die Lösung einzutauchen, etwas darin herumzuschwenken, ihn dann wieder herauszuziehen und ihn an der Luft trocknen zu lassen, so war der Gummi in ausreichender Weise vulkanisiert. Nachdem nun der Gummiüberzug von der Stricknadel und dem obersten Teile des Konus mit dem Messer abgekratzt war, gelang es leicht, den Konus aus der Kugel mit Gewalt herauszuziehen. Es blieb dann die Zuckerkugel mit dem Gummiüberzug übrig, und an diesem letzteren befand sich der schlauchförmige kleine Ansatz, aus dem der Konus entfernt war. Jetzt wurde die oben besprochene Doppelkanüle in den schlauchförmigen Ansatz eingeführt, und man liefs Wasser hinein- und hinauslaufen, wodurch der Zucker schnell gelöst und fortgeführt und der Ballon zu seiner Benutzung für den Tierversuch fertiggestellt wurde. Erwähnen will ich noch, dafs es vorteilhaft war, um ein Zusammenkleben der Wände des Ballons zu verhüten, denselben mit Talkumpulver auszublasen.

b) Die Befestigung der Doppelkanüle mit dem Gummiballon an der Taube.

Da die freistehende Taube untersucht werden sollte, so mufste der kleine Apparat an dem Kopfe derselben befestigt werden. Hierzu eignet sich in vorzüglicher Weise die von Ewald[1] angegebene Methode, den betreffenden Apparat auf den nackten Schädel aufzugipsen. Zu dem Zwecke war die Doppelkanüle durch ein angelötetes Drahtstück (Fig. 1 c) mit einer kleinen Messingplatte (Fig. 1 f) verbunden, und diese letztere Platte wurde, nachdem man die Doppelkanüle in die richtige Lage gebracht hatte, auf den Schädel der Taube angegipst. Die Vorbereitungen zu den entscheidenden Tierversuchen gestalteten sich demnach folgendermafsen: Die Taube wurde auf dem Kopfe bis um den äufseren Gehörgang herum sorgfältig geschoren und dann in dem Ewaldschen Taubenhalter fixiert. Die Freilegung der Ampulla externa und posterior (Hautschnitt, Zurückschieben der Muskulatur, Entfernung des kleinen Stückes des Schädeldaches usw.) geschah nach den Ewaldschen Angaben. Da es nur darauf ankam, zu den genannten Ampullen gelangen zu können, so liefs ich den äufseren Bogengang mit dem ihn begleitenden Sinus vom

[1] Ewald: Phys. Untersuchungen über das Endorgan des N. octavus (S. 241 ff.).

Schädelknochen bedeckt und hatte also nur eine Wundöffnung unterhalb des externen und nach vorn vom hinteren Bogengange, also eine Öffnung, die dem sogenannten III. Quadranten entsprach.[1] Während der Operation hatte ich die Kopfhaut mit Hilfe eines kleinen Häkchens mit daranhängendem Gewichte von der Wunde abgezogen, so dafs eine reichlich grofse Fläche des Schädeldaches trocken werden konnte. Damit der Gips später auf dieser Fläche gut haftet, empfiehlt es sich mit einem spitzen Messer einige Male in das Schädeldach einzustechen.



Figur 3.

Bei der Freilegung der Ampullen bediente ich mich der Westienschen Lupe und benutzte diese auch, um die Doppelkanüle mit dem kleinen Gummiballon in die richtige Lage zu bringen. Der Ballon darf nur die betreffende Ampulle — wir wollen annehmen, dafs es sich zunächst um die Ampulla externa handle — berühren, und man kann, um die Ampulla posterior noch besonders zu schützen, ein oder zwei Fliefspapierstückchen auf dieselbe legen. Um das Aufgipsen gut ausführen zu können, bringt man zunächst etwas Gipsbrei (Fig. 3c) auf die trockene Schädeloberfläche, legt darauf die obenerwähnte mit der Doppelkanüle verbundene Messingplatte und bringt nun die Kanüle, die an ihrem vorderen Ende den Ballon trägt und an ihren beiden hinteren Enden mit den beiden obenerwähnten dünnen

[1] Ewald: Ebenda (S. 104 und Figur 31).

Gummischläuchen bereits verbunden ist, in die gewünschte Lage. Erleichtert wird dies durch zwei besondere Einrichtungen an dem kleinen Apparat. Erstens läfst sich nämlich der Abstand zwischen der Kanüle und der aufzugipsenden Platte vergröfsern oder verkleinern, indem die mit der Kanüle durch den Draht *c* fest verbundene Gabel (Fig. 1 *e* u. *e*) sich in den auf der Platte *f* aufgelöteten Röhren *d* und *d* verschieben läfst. Dabei genügt eine geringe Reibung zur Fixierung der Teile aneinander. Zweitens läfst sich der Draht *c* leicht etwas verbiegen, wodurch die Kanüle eine andere Richtung bekommen und auch etwas höher oder niedriger gestellt werden kann. Dies wird durch den Bogen, den *c* bildet, erleichtert. Während man die Kanüle in der richtigen Lage festhält, wird von einem Assistenten auch über die Messingplatte Gips aufgetragen, und man mufs nun einige wenige Minuten die Kanüle ruhig halten, bis der Gips etwas angezogen hat. Dann kann man das Tier sich selbst überlassen, und nach etwa einer Viertelstunde ist dann der Gips so hart geworden und sitzt so fest auf dem Schädel, dafs man die ganze Taube an der Kanüle hochheben kann, vorausgesetzt, dafs sie keine zu heftige Bewegung mit den Flügeln macht.[1]

Bei der nun folgenden Befreiung des Tieres aus dem Taubenhalter ist die gröfste Vorsicht geboten. Alle Bewegungen müssen ganz langsam ausgeführt werden, um das Tier nur ganz allmählich frei auf die Beine zu bringen. Man stülpt dann gleich einen Drahtkorb über dasselbe und hat dann nur noch nötig, die von der Doppelkanüle frei herabhängenden dünnen Gummischläuche mit den weiteren Schläuchen des oben beschriebenen Einlaufapparates zu verbinden, um sofort mit dem eigentlichen Versuche beginnen zu können.

c) Erwärmung der Doppelkanüle.

Es zeigte sich sehr bald bei unseren Versuchen, dafs die Länge der Zuleitungsschläuche ungünstig auf die Zuführung des kalten oder warmen Wassers einwirkte. Denn wenn man z. B. den Ballon durch das warme Wasser im Druckgefäfse speisen wollte, so mufste immer zuerst das in dem Zuführungsschlauche befindliche Wasser, welches natürlich allmählich die Zimmertemperatur angenommen hatte, durch den Ballon hindurchfliefsen

[1] Es empfiehlt sich natürlich nicht, diesen Versuch ohne besonderen Grund anzustellen.

bevor das warme Wasser in ihn gelangen konnte. Es wurde also die Temperatur in dem Ballon nur sehr allmählich und zu einer Zeit, die schwer genau zu bestimmen war, gesteigert. Für die Versuche mit kaltem Wasser kamen diese Umstände freilich nicht in Betracht, da das Wasser von Zimmertemperatur sich schon als kaltes Wasser, d. h. als wirksam, erwies. Es kann dies nicht auffallen, da die Bluttemperatur der Taube etwa 40° beträgt und das Zimmer nur eine Temperatur von 17—18° hatte. Das in den Schläuchen befindliche Wasser, das allmählich die Zimmertemperatur angenommen hatte, brauchte daher nur um ein geringes verschoben zu werden, um in den Ballon zu gelangen und hier das durch die Körpertemperatur der Taube erwärmte zu verdrängen.

Um nun in gleicher Weise den Inhalt des Ballons durch eine geringe Wasserverschiebung erwärmen zu können, mufste das Wasser in der Doppelkanüle selbst erwärmt werden.

Zu diesem Zwecke haben wir einen isolierten Neusilberdraht von 0,3 mm Durchmesser, in einer Länge von etwa 7 cm als Spirale um die Doppelkanüle gewickelt. Die beiden Enden des Neusilberdrahtes waren an Kupferdraht von 0,4 mm Dicke angelötet. Ein galvanischer Strom von der Stärke 1 Ampere genügte, um den Neusilberdraht so heifs zu machen, dafs man ihn nicht mehr zwischen den Fingern halten konnte, bevor er um die Doppelkanüle gewickelt war. Bei den Versuchen selbst mufsten wir die Stromstärke bis fast 3 Ampere steigern, da der Draht durch die metallische Doppelkanüle stark abgekühlt wurde. Aber es gelang auf diese Weise sehr gut, das Wasser in der Doppelkanüle so stark zu erwärmen, dafs bei einer ganz geringen Verschiebung des Wassers der Inhalt des Gummiballons genügend erwärmt wurde, um die Reaktion des Tieres hervorzurufen.

II. Die galvanokaustische Erwärmung der Ampullen.

In ähnlicher Weise wie wir den Gummiballon in der richtigen Lage an der Ampulle befestigt haben, wurde auch ein winziger Galvanokauter zu unseren Versuchen benutzt. Er befand sich am Ende eines in geeigneter Weise gebogenen Doppeldrahtes, der auch wieder wie bei den früheren Versuchen auf das Schädeldach der Taube aufgegipst wurde. Wegen der kleinen Dimension des Apparates waren wir auch in diesem Falle gezwungen, das Instrument uns selbst herzustellen.

Zwei Kupferdrähte von 0,7 mm Durchmesser wurden mit feiner Seide zusammengewickelt, so dafs sie einen Doppeldraht darstellten. Auf der einen Seite desselben wurden in die beiden gerade abgefeilten Enden zwei kleine Löcher in die Achsen der Drähte gebohrt. Die Löcher, die nur einen Millimeter tief zu sein brauchten, waren nur gerade so weit, dafs ein Platindraht von 0,1 mm Dicke, der 12 mm lang zur Öse umgebogen war, hineingesteckt werden konnte. Derselbe wurde dann unter der Westien-schen Lupe an beiden Enden festgelötet, zu welchem Zwecke man ein winziges Spürchen Tinol auf die zu verlötenden Stellen brachte, und durch Annäherung eines Mikrobrenners die Verlötung erzielte.

Durch Eintauchen in Zaponlack wurden der Platindraht und die Lötstellen isoliert. Nachdem dieser Lack trocken geworden war, konnte durch Aufwickeln der Platinöse um die äufserste Spitze einer spitzen Pinzette der Platindraht zu einer ganz kurzen Doppelspirale umgeformt werden. Je nachdem, ob man nun die Ampulla externa oder die Ampulla posterior untersuchen wollte bog man den Platindraht derart, dafs die kleine knäuelförmige Doppelspirale entweder (für die Ampulla externa) gerade vor das Ende des Doppeldrahtes oder aber (für die Ampulla posterior der rechten Körperhälfte der Taube) auf die linke Seite des Endes vom Doppeldrahte zu liegen kam. Die beiden freien Enden des Doppeldrahtes wurden mit zwei langen leicht beweglichen Kupferdrahtspiralen verlötet.

Beim Durchleiten des konstanten Stromes ergab sich, dafs der Platindraht schon bei einer Stromstärke von 1,3 Ampere eben zu glühen anfing. Wir durften daher nur schwächere Stromstärken verwenden und bestimmten die Temperatur, die der Platindraht annahm, durch Auflegen kleiner Paraffinstückchen, deren Schmelztemperatur uns bekannt war. Bei einer Stromstärke von 0,4 Ampere schmolz das Paraffin, dessen Schmelzpunkt zwischen 45° und 50° lag. Bei einer Stromstärke von 0,5 Ampere wurde auch das Paraffin geschmolzen, dessen Schmelzpunkt etwa 60° betrug. Diese Bestimmungen reichten für unsere späteren Versuche aus.

III. Die Ausschliefsung des Einflusses, den das Sehen der Tiere auf die Versuche ausüben kann.

Es ist bekannt, dafs bei allen Versuchen, die man über die Funktion der Bogengänge anstellt, das Sehen der Tiere eine

grofse Rolle spielt. So bleibt z. B., auch wenn die Labyrinthe doppelseitig und vollständig entfernt worden sind, noch ein geringer Drehnystagmus übrig, der durch die Verschiebung der Netzhautbilder verursacht wird.[1] Es ist aber keine ganz leichte Aufgabe, das Sehen der Tiere bei den Versuchen auszuschliefsen. Wir haben zuerst versucht, die Augenlider in irgendeiner Weise zu schliefsen. Man kann sie zusammennähen oder durch Leukoplaststreifen verkleben. Diese Methode ist unzweckmäfsig, weil die Tiere lange Zeit hindurch versuchen, durch Kratzen mit dem Fufse das Auge zu öffnen. Und wenn sie sich auch schliefslich beruhigt haben, so werden durch eine sehr lebhafte Tränensekretion die Lider abgehoben, und der Verschlufs wird ein mangelhafter.

Auch die in tiefer Narkose auszuführende Kauterisation der Cornea, um dieselbe durch die entstehende Leukome undurchsichtig zu machen, führt nicht in genügender Weise zum Zweck. Denn abgesehen davon, dafs es schwer zu beurteilen ist, wieviel Licht durch eine leukomatöse Hornhaut noch hindurchdringt, hellt sich bei den Tieren die Hornhaut häufig in überraschender Weise fast von einem Tage zum anderen wieder auf, und bei Versuchen, die sich über längere Zeit erstrecken, müfste man immer von neuem wieder die Durchsichtigkeit des Auges prüfen.

Es bleibt natürlich als Radikalmittel die vollständige Enukleation übrig. Mit ihr ist aber meist eine sehr starke Blutung verbunden, so dafs die Tauben sogar durch den Blutverlust dabei zugrunde gehen können. Ferner spielt dabei die Hemmung des Tieres eine nicht unbedeutende Rolle, so dafs man jedenfalls gut tun wird, die Tiere erst nach einer oder mehreren Wochen nach der Operation zu den Versuchen zu verwenden.

Aus allen diesen Gründen haben wir unsere Versuchstiere durch die Evisceratio bulbi am Sehen verhindert. In tiefer Äthernarkose wird die Cornea nur im Umfange der Pupille durch einen Zirkulärschnitt abgetragen und nach Herausnahme der Linse mit einem kleinen scharfen Löffel der Glaskörper und die Retina entfernt. Dabei braucht gar keine Blutung zu entstehen, und die ganze Operation ist in wenigen Minuten ausführbar. Nach Beendigung derselben überläfst man das Tier sich selbst, ohne etwa in den leeren Bulbus Watte oder dergleichen einzu-

[1] Vgl. Ewald: Ebenda (S. 143 ff.).

führen. Schon am nächsten Tage verhalten sich die Tiere ganz ruhig und reagieren auf alle Reize wie sonst normale Tiere, so dafs keine besondere Hemmung aufser derjenigen, die natürlich durch die Erblindung erfolgt, zu konstatieren ist. Ich kann daher diese Methode für alle Versuche, bei denen Tiere längere Zeit zu beobachten sind, und bei denen der Einflufs des Auges ausgeschlossen werden mufs, als eine sehr geeignete empfehlen.

Versuche.

Die sehr wichtigen und interessanten Versuche Báránys, die dann von anderen Autoren bestätigt wurden, haben für den Menschen die Tatsache festgestellt, dafs bei Ausspritzung des äufseren Gehörganges mit kaltem oder warmem Wasser ein Augennystagmus zustande kommt, dessen Schlagrichtung bei Verwendung des kalten Wassers umgekehrt gerichtet ist, wie bei warmem Wasser. Das Trommelfell kann bei diesen Versuchen völlig unverletzt und normal sein. Die Einwirkung der von der Körperwärme abweichenden Temperatur erstreckt sich also zunächst auf den äufseren Gehörgang und das Trommelfell. Bei diesen Versuchen ist es sehr auffallend, dafs das kalte Wasser sehr viel prompter wirkt als das warme, so dafs in nicht seltenen Fällen der Wärmenystagmus überhaupt nicht zustande kommt, und in den meisten Fällen bedeutend schwächer als der Kältenystagmus auftritt. Bárány und besonders später Brünings haben sich nun die Einwirkung auf den Bogengangsaparat in folgender Weise vorgestellt. Sie meinen, in jedem Bogengange — wir wollen der Einfachheit halber hier nur von dem äufseren Bogengange sprechen — würde die Endolymphe nicht gleichmäfsig erwärmt, resp. abgekühlt, und es müfste nun eine Bewegung der Endolymphe ähnlich der Remanenzbewegung bei der Drehung des Tieres entstehen, da ja die kältere Endolymphe spezifisch schwerer sei als die wärmere. Findet sich also die abgekühlte Endolymphe oben, so mufs sie herabsinken, ebenso wie die wärmere Endolymphe steigen müfste. Die Autoren stützen ihre Theorie noch besonders auf die von ihnen gemachte Beobachtung, dafs, wenn man bei einem Tiere kalorischen Nystagmus von einer bestimmten Schlagrichtung erzeugt hat und das Tier dann in eine andere Lage bringt, also etwa aus der Bauchlage in die Rückenlage, dafs sich dann auch die Schlagrichtung des Nystagmus in die

umgekehrte Richtung umwandelt. Nach ihrer Ansicht würde dann z. B. bei der Abkühlung der Endolymphe die schwerere Flüssigkeit, welche in der Bauchlage des Tieres nach der Ampulle zu sinkt, nach Umkehr des Tieres zum glatten Ende des Bogenganges hinfliefsen, und es würde dadurch verständlich, dafs der Nystagmus die umgekehrte Richtung bekommt.

Wir versuchten zuerst, ob sich auch bei den Tauben die analogen Erscheinungen zeigen, es war uns aber nicht möglich, durch Einspritzen oder Einlaufenlassen von kaltem oder warmem Wasser, weder Kopfnystagmus noch Augennystagmus hervorzurufen.[1] Für diese negativen Erfolge lassen sich zwei Gründe anführen: Die Augen sind bei den Tauben wenig beweglich und neigen überhaupt wenig dazu in Nystagmusbewegungen zu geraten. Vielleicht, dafs man unter der Westienschen Lupe die Andeutung eines Nystagmus sehen würde; da wir aber aus den oben (S. 12) angeführten Gründen nur an dem freistehenden Tiere beobachten wollten, so haben wir uns auf die Untersuchung der Augen ohne Benutzung der Lupe beschränken müssen. Der zweite Grund für das Ausbleiben eines deutlichen Augennystagmus ist sicherlich in der Dicke des Trommelfells gelegen. Während die Säuger, speziell die Nager unter ihnen (Kaninchen und Meerschweinchen), ein aufserordentlich dünnes Trommelfell besitzen, ist dasselbe bei den Tauben relativ dick. Friedmann[2] konnte daher auch kein Analogon für den Brown-Séquardschen Versuch an der Taube finden. Das Chloroform, welches so leicht das Trommelfell des Meerschweinchens durchdringt, wird offenbar von dem Trommelfelle der Taube sehr gut zurückgehalten und Friedmann mufste daher bei diesem Tiere das Trommelfell perforieren, um eine Wirkung des Chloroforms auf den Bogengangsapparat zu erhalten.

Wir haben auch an unseren Tauben in derselben Weise, wie es Friedmann angegeben hat, das Trommelfell ringsherum um die Columella durchschnitten und dann bei diesen Tieren warmes oder kaltes Wasser einlaufen lassen. Aber auch bei diesen Versuchen haben wir nie Augennystagmus beobachten können, wohl aber zeigte sich der bei den Vögeln ganz analoge Kopfnystagmus verändert. Es trat zwar während des Einlaufens des Wassers

[1] Auch Kubo hat, wie schon erwähnt, bei seinen analogen Versuchen kein positives Resultat bekommen.

[2] Friedmann: Über künstliche Reizung des Ohrlabyrinthes (S. 48).

kein Kopfnystagmus auf, doch konnte an dem einige Zeit nach Aufhören des Einfliefsens durch Rotation erzeugten Nachnystagmus der Einflufs der Temperaturveränderung festgestellt werden. Dabei hatte die Erwärmung des Labyrinthes die Folge, dafs die bei normalem Tiere eintretende Reaktion, nämlich der Nachnystagmus, verstärkt wurde, während umgekehrt die Kälte den Nachnystagmus herabsetzte.

Wir haben versucht, den kalorischen Einflufs dadurch deutlicher zu machen, dafs wir die Versuche an Tauben anstellten, denen auf der anderen Kopfseite das gesamte Labyrinth entfernt war, in der Hoffnung, dafs dann die Erscheinungen deutlicher werden möchten, weil das Tier in diesem Falle nur auf das eine Labyrinth angewiesen war, welches erwärmt oder abgekühlt wurde, ohne dafs von dem anderen Labyrinthe die Störung kompensiert werden konnte. Dieser Gedanke hat sich aber als unrichtig herausgestellt, und auch bei anderen späteren Versuchen hat es sich nicht als vorteilhaft erwiesen die Versuche an einseitig labyrinthlosen Tieren auszuführen. Dies scheint freilich mit früheren Erfahrungen Ewalds in Widerspruch zu stehen, der es gerade vorteilhaft fand die Reizversuche an den Labyrinthen anzustellen, wenn nur dies eine Labyrinth noch vorhanden ist. Aber es ist wohl möglich, dafs es einen Unterschied macht, ob es sich um gröbere Reaktionen oder nur um eine aufserordentlich schwache Beeinflussung der normalen Funktionen handelt, wie das bei der kalorischen Wirkung in unseren Versuchen der Fall war.

Wir haben bei einer einseitig labyrinthlosen Taube ein von der obigen Regel abweichendes Resultat erhalten, d. h. wir fanden während des Einfliefsens des kalten Wassers einen Nystagmus, der nur auf einen Reizzustand des betreffenden Labyrinthes zurückgeführt werden konnte. Wir haben aber bei diesem Tiere nicht darauf geachtet, ob nicht direkt durch den eingeführten dünnen Gummischlauch, oder durch den Wasserstrahl Bewegungen der vom Trommelfell befreiten Columella verursacht wurden. Wir möchten annehmen, dafs in diesem Falle das Resultat durch die von den Bewegungen der Columella hervorgerufenen Druckschwankungen der Perilymphe verursacht wurde.

Jedenfalls geht auch aus unseren Versuchen hervor, was auch Bárány und die übrigen Autoren angenommen haben, dafs Wärme und Kälte direkt auf das Labyrinth einwirken, und dafs es sich nicht etwa bei dem kalorischen Nystagmus um einen

Reflex handelt, der von den sensiblen Nerven des äufseren Gehörganges oder des Trommelfelles ausgelöst wird. Wir haben daran gedacht, diese Teile asensibel zu machen, etwa durch Cocain, da aber alle Mittel, die die sensiblen Nervenendigungen lähmen, wohl auch auf die Endigungen des Octavus in den Ampullen wirken, so haben wir von diesem Versuche Abstand genommen und konnten dies mit um so gröfserer Berechtigung, da wir ja gefunden hatten, dafs vor der Zerstörung des Trommelfelles das warme oder kalte Wasser keine Reaktion hervorrufen.

Bei den Versuchen mit dem kleinen Gummiballon waren natürlich Störungen, die durch Bewegungen der Columella hervorgerufen werden könnten, ganz ausgeschlossen. Die frei dastehende Taube befand sich unter ganz normalen Verhältnissen. Doch wollen wir nicht unterlassen, darauf hinzuweisen, dafs möglicherweise durch die Freilegung der Ampullen eine ganz geringe Störung verursacht werden kann. Sie ist aber jedenfalls zu gering, um das Resultat unserer Beobachtungen wesentlich beeinflussen zu können. War der Gummiballon an die Ampulla externa (dextra) angelegt, so stand die erblindete Taube, falls kein Wasser durch den Ballon strömte, vollständig ruhig da. Auch wenn man die Schnabelspitze genau beobachtete, konnte man während längerer Zeit nicht die geringste Bewegung sehen. Das Wasser in dem Ballon (es handelt sich etwa um 1, 5 – 2,0 cbmm, also um etwa den vierzigsten Teil eines Wassertropfens) nimmt nach kurzer Zeit die Temperatur der Umgebung an, die nicht viel niedriger als die Bluttemperatur sein dürfte. Denn wenn auch die Ohrhöhle eröffnet ist, so liegen doch die Ampullen so tief unter der Oberfläche, und das Loch, welches von aufsen zu ihnen führt, ist so klein, dafs man keine grofse Abkühlung durch die Aufsentemperatur annehmen kann. Wenn man nun das Wasser in dem Ballon durch Wasser von Zimmertemperatur ersetzt, so macht die Taube jedesmal eine deutliche Kopfbewegung nach rechts, in gleicher Weise als wenn die Taube in der Richtung nach links gedreht worden wäre, d. h. also, da es sich ja um die rechte Ampulla externa handelt, als wenn eine Remanenzbewegung von der Ampulle fort zum glatten Ende des Kanales hin eingetreten wäre. Bei einer solchen Strömung findet aber nach der Ewaldschen Theorie eine Hemmung der Funktion der Ampulle statt, und wir kommen daher zu dem Resultate, dafs die Abkühlung der Ampulle eine Hemmung derselben verursacht

hat. Anschliefsend an diese Kopfdrehung beobachteten wir regelmäfsig einen schwachen Nystagmus, welcher nach der entgegengesetzten Seite, d. h. nach links, schlug. Auch dieser Nystagmus besitzt also die umgekehrte Schlagrichtung, als wenn das Tier nach rechts gedreht worden wäre, und wie wir ihn beobachten, wenn es sich um eine Reizung der rechten Ampulla externa handelt. Wir müssen also auch diesen Nystagmus als Ausfalls- oder Hemmungserscheinung auffassen.

Diese Erscheinung dauerte nicht lange. Nach wenigen Sekunden wurde der Kopf wieder ganz ruhig gehalten, offenbar weil sich die winzige Wassermenge in dem Ballon wieder bis zur lokalen Körpertemperatur erwärmt hatte. Dann liefs sich die Reaktion von neuem hervorrufen, und man kann sagen, beliebig oft hintereinander.

Es ist nun gar nicht nötig, das Wasser wirklich durch den Ballon hindurchfliefsen zu lassen, sondern es genügte, auf den durch eine Schlauchklemme abgesperrten Schlauch zwischen Klemme und Tier ein wenig zu drücken, um auf diese Weise das in der Doppelkanüle befindliche Wasser, das ja auch etwa Zimmertemperatur haben mufste, in den Ballon hineinzuschieben und so die Abkühlung herbeizuführen. Liefse man den Fingerdruck bestehen, so kam der Kopf des Tieres sehr bald in Ruhe, weil sich, wie schon oben bemerkt, das Wasser im Ballon erwärmte, und wenn man dann den Finger vom Schlauche entfernte, so sog der Schlauch das Wasser, das sich in dem abführenden Teile der Doppelkanüle befand, in den Ballon zurück, und es traten, da ja auch dieses Wasser etwa Zimmertemperatur befafs, wieder die gleichen schon geschilderten Bewegungen ein.

Dieser Versuch läfst sich nicht in derselben Weise mit warmem Wasser anstellen aus Gründen, die wir bereits oben geschildert haben. Als wir aber die Doppelkanüle mit dem Hitzdrahte (vgl. oben S. 18) armiert hatten, so war nun das Wasser in der Doppelkanüle bedeutend wärmer als in dem Ballon, und jetzt gelang auch die Umkehr der durch die Kälte erzeugten Bewegungen. Der Schnabel des Tieres bewegte sich nun nach links und der darauf folgende Nystagmus schlug nach rechts, d. h. es traten Reaktionen auf wie bei der Drehung des Tieres nach rechts, von welcher Drehung wir annehmen, dafs sie eine Reizung der rechten Ampulla externa bewirkt.

Wir waren bei Anstellung dieser Versuche erstaunt zu sehen, wie kleine Reize bereits genügen, um auf die Ampulle einzu-

wirken. Es handelt sich offenbar um einen überaus empfindlichen Apparat, der natürlich dementsprechend auch leicht durch zu starke Einwirkung geschädigt werden kann. Man braucht tatsächlich nur das Wasser von Zimmertemperatur etwas längere Zeit, nur wenige Minuten, durch den kleinen Ballon fliefsen zu lassen, so versagt der Versuch nachher vollständig, offenbar weil durch die zu starke Abkühlung der Ampullarapparat ungeeignet geworden ist, auf geringe Temperaturschwankungen zu reagieren. Erst nach einigen Stunden lassen sich dann die Versuche wiederholen.

Die Beeinflussung durch die Wärme trat vielleicht noch deutlicher hervor, als wir den kleinen oben beschriebenen Galvanokauter benutzten. Wir wollen zunächst annehmen, auch er läge der Ampulla externa an. Um die Ampulla posterior noch besonders zu schützen, legten wir zwei kleine Fliefspapierquadrate zwischen Galvanokauter und diese Ampulle. Die Erwärmung des Platindrahtes konnten wir mit Hilfe des Amperemeters leicht bestimmen (vgl. oben S. 19), und wir steigerten diese mit Hilfe eines Rheostaten zunächst nur bis 40—50°. Es traten ganz prompte Reaktionen auf. Der Schnabel bewegte sich etwa in der Horizontalebene nach links, und der darauffolgende Nystagmus hatte eine Schlagrichtung nach rechts. Nun ist es sehr bemerkenswert, dafs wir bei unseren verschiedenen Versuchen sowohl mit dem Gummiballon wie mit dem Galvanokauter unmöglich immer die gleiche Stelle der Ampulle berührt haben, und es geht daraus hervor, dafs es nur auf eine allgemeine Erwärmung der Ampulle ankommt. Wir haben aber auch, speziell um die Theorie von der Flüssigkeitsbewegung in der Ampulle infolge der Veränderung des spezifischen Gewichtes der erwärmten oder abgekühlten Endolymphe, zu widerlegen, in einem Falle eine Amalgamplombe in den Canalis posterior (es handelte sich in diesem Falle um Versuche an diesem Kanale) möglichst dicht an der Ampulle eingesetzt, ohne dafs dadurch das Resultat bei der Erwärmung der Ampulle ein anderes geworden wäre.

Als wir den Galvanokauter, dessen Wärmekörper für diesen Fall nach links abgebogen war, der Ampulla posterior dextra angelegt hatten, sahen wir Bewegungen in der Ebene dieses Kanales auftreten, doch war die Nystagmusbewegung weniger ausgesprochen, als bei den Versuchen mit der Ampulla externa. Die Kopfbewegung geschah in der Richtung, als wäre das Tier derart gedreht worden, dafs die Endolymphe durch Remanenz-

bewegung von der Ampulle zum glatten Ende sich bewegt hätte. Auch dieses Resultat entspricht der Ewaldschen Ansicht, dafs die Ampulla posterior gereizt wird, wenn sich der Kopf in der Ebene des Canalis posterior mit dem Ampullenende voran bewegt. Diese Posteriorreizung haben wir auch beobachtet, als wir einmal durch zu starke Erwärmung der Ampulla externa diese aufser Funktion gesetzt hatten. Der der Ampulla externa anliegende Galvanokauter wirkte nun nicht mehr auf die benachbarte Ampulle, sondern bei seiner sehr starken Erwärmung allein auf die Ampulla posterior. Vor solchen Fernwirkungen der Wärme kann man sich aber mit Sicherheit schützen, wenn man den Galvanokauter nicht über 50—60° erwärmt. Viele Resultate der früheren Autoren sind offenbar auf eine viel zu hohe oder auch viel zu niedrige Temperatur der benutzten Wärmkörper zurückzuführen.

Die Ergebnisse unserer Arbeit lassen sich etwa in folgende Sätze zusammenfassen:

1. Es gelingt, so kleine Gummiballons herzustellen, dafs man sie gesondert an eine Ampulle eines Bogenganges bei der Taube derart anlegen kann, dafs nur diese eine Ampulle vom Gummiballon berührt wird. Man kann dann mittels einer Doppelkanüle warmes oder kaltes Wasser durch den Gummiballon hindurchleiten.

2. Die Erwärmung einer einzelnen Ampulle gelingt auch mit Hilfe eines kleinen Galvanokauters, der nur einer einzelnen Ampulle anliegt und auf das Schädeldach der Taube aufgegipst ist.

3. Die Erwärmung der Ampulla externa hat die gleiche Kopfdrehung und den gleichen Kopfnystagmus zur Folge, die man beobachtet, wenn das Tier derart gedreht wird, dafs die Endolymphe durch Remanenzbewegung vom glatten Ende des Bogenganges zur Ampulle strömt (Reizung der Ampulle).

Die Abkühlung derselben Ampulle hat den umgekehrten Erfolg (Hemmung der Ampulle).

4. Die Erwärmung der Ampulla posterior wirkt in gleicher Weise, wie wenn das Tier so gedreht würde, dafs dadurch die Endolymphe durch Remanenzbewegung von der Ampulle fort zum glatten Ende fliefst (Reizung der Ampulle).

Die Abkühlung derselben Ampulle hat den umgekehrten Erfolg (Hemmung der Ampulle).

Lebenslauf.

Verfasser vorliegender Arbeit, Heinrich Popp, wurde in Strafsburg am 1. April 1890 als Sohn des Kassierers Andreas Popp geboren.

Seine Schulbildung erhielt er am Lyzeum zu Strafsburg, wo er im Sommer 1908 die Reifeprüfung als Realgymnasiast bestand. Er bezog dann die Universität Strafsburg als Student der Medizin, wo er im Februar 1911 die ärztliche Vorprüfung und im Dezember 1913 die ärztliche Prüfung ablegte.

G. Pätz'sche Buchdr. Lippert & Co. G. m. b. H., Naumburg a. d. S.